

УДК 504.05

СПОСОБЫ И СРЕДСТВА НЕЙТРАЛИЗАЦИИ АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВОВ НЕФТИ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР ЯКУТИИ

Попов С.Н., Морова Л.Я., Ефимов С. Е., Герасимов А.И.
Институт проблем нефти и газа СО РАН, г. Якутск
e-mail: menseit@mail.ru

Аннотация. Анализ научно-технической информации и выпускаемого отечественной промышленностью оборудования для локализации и сбора аварийных разливов нефти показал, что для применения в зимних условиях Якутии эффективные технические и технологические решения практически отсутствуют. Показана перспективность использования в технологиях по локализации и сбору разливов нефти отечественного нефтесорбента «ЭКОСОРБ». С применением нефтесорбента «ЭКОСОРБ» разработаны три типа технологического оборудования.

Ключевые слова: магистральный нефтепровод, аварийный разлив нефти, способы ликвидации аварии, охрана окружающей среды, экология, нефтесорбент, низкие температуры, ледовая обстановка

Возможность возникновения аварийных ситуаций, связанных с разливами нефти, постоянно сопровождает все работы по поиску и разведке нефтяных месторождений, добыче, транспортировке и переработке нефти.

Используемое в мероприятиях по борьбе с аварийными разливами нефти оборудование можно разделить на следующие типы:

1. Оборудование для локализации нефти;
2. Оборудование для сбора нефти;
3. Оборудование для утилизации нефтесодержащих отходов.

Для локализации нефти на поверхности водоемов и болотистых мест используются различные типы заградительных бонов. Для сбора нефти применяются различные конструкции насосов. Повышение эффективности локализации и сбора обеспечивается при использовании нефтесорбентов. Очистка воды от нефти может производиться различными технологическими способами. Наиболее распространенный способ – сепарация. Утилизация нефтесодержащих отходов, как правило, осуществляется сжиганием в печах различной конструкции.

Разработкой и промышленным производством оборудования для ликвидации последствий аварийных разливов нефти и нефтепродуктов в России в настоящее время занимаются ряд предприятий, в том числе: ООО «ЭКОсервис-НЕФТЕГАЗ» (г. Москва); ООО «Скорая экологическая помощь» (г. Брянск); ООО «Лессорб» (г. Брянск); ПКФ «Ивтекс» (г. Иваново); ЗАО «Газтурбо» (г. С.-Петербург); ООО «Композит» (г. Брянск).

Зимние варианты известных конструкций, например, нефтесборщиков, предусматривают только дополнительное оснащение электропарогенераторами

для подогрева и разжижения застывшей нефти или исключения ледообразования в майнах. Эффективность их применения в зимних условиях при температурах ниже минус 40 °С весьма сомнительна. Работоспособность оборудования при таких температурах также ни одним предприятием не изучалась.

Целью данной работы является разработка устройств и способов для сбора, локализации нефти и очистки воды от нефтезагрязнений в зимнее время с учетом климатических особенностей Якутии.

Плавающее сорбирующее устройство (рис. 1) предназначено для сбора нефти с поверхности водоемов, в том числе из-под льда [1]. В качестве сорбента использован материал «Экосорб», предлагаемый ООО «Экосервис-НЕФТЕГАЗ», обладающий высокими гидрофобными характеристиками. Даже при полном насыщении сорбента водой, так как удельный вес полипропилена составляет 0,91-0,95 г/см³, он находится в воде практически во взвешенном состоянии. При насыщении сорбента нефтью сорбирующее устройство гарантированно будет находиться на плаву и его дополнительное оснащение поплавочными элементами необходимо только для обеспечения расплавленного состояния при воздействии турбулентного течения. Следует отметить, что свойства сорбента «Экосорб» обеспечивают очень быстрое поглощение нефти, а насыщение водой осуществляется со значительно меньшей скоростью.

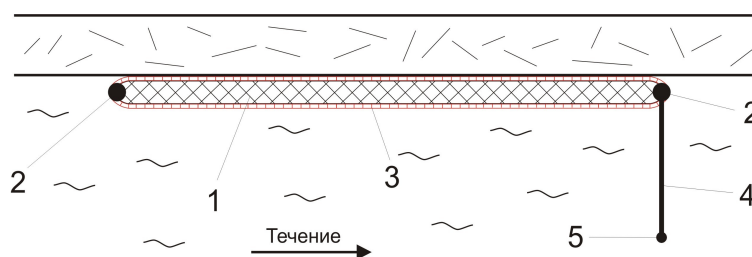


Рис. 1. Устройство для сбора нефти под поверхностью льда

Устройство выполняется в виде полосы сорбирующего материала 1, по краям прикрепленного к плавучему тросу 2 с удельным весом меньше плотности воды. Для сохранения формы, обеспечения прочности и облегчения выемки из воды сорбент вместе с тросами размещают в гибком сетчатом чехле 3. Расчетная поглощающая способность предлагаемого устройства в зависимости от площади поверхности и количества используемых в устройстве слоев сорбента приведена в табл. 1. Толщина одного слоя сорбента составляет 6 мм, поэтому толщина даже десятислойного сорбирующего устройства не превысит 60 мм. Минимизация поперечного сечения сорбирующего устройства в значительной мере ослабит давление потока воды и может существенно облегчить варианты стационарного закрепления и возможности управления в плавучем состоянии в летний период.

Таблица 1. Поглощающая способность сорбирующего устройства

Площадь устройства, м ²	Масса одного слоя сорбента, кг	Количество слоев сорбента масса поглощаемой нефти, т			
		1	2	6	10
100	30	0,54	1,08	3,24	5,40
200	60	1,08	2,16	6,48	10,16
300	90	1,62	3,24	9,72	16,20
400	120	2,16	4,32	12,96	21,60
500	150	2,70	5,40	16,20	27,00
1000	300	5,40	10,80	32,4	54,00

В зимнее время гибкость устройства позволит без больших технических затруднений оперативно протянуть его подо льдом при возникновении аварийной ситуации, закрепить и без особых усилий удерживать стропами до подхода нефтяного пятна. При подходе нефтяного пятна устройство может освобождаться и плыть подо льдом совместно с пятном, поглощая нефть до полного насыщения.

Для извлечения плавучего устройства из-подо льда ниже по течению рекомендуется в подготовленных майнах разместить закрепленные к стропам крючья. При зацеплении устройства вытягивание его из воды необходимо осуществлять лебедками непосредственно в емкости для временного хранения нефти и нефтепродуктов. Объем предлагаемого устройства для сбора нефти в воде составляет в зависимости от площади и количества слоев сорбента (табл. 1) от 5 до 50 м³. Описанное выше сорбирующее устройство может также использоваться для локализации и сбора нефти в замкнутых водоемах.

В летний период устройство стропами вручную или с помощью маломерных судов перемещается по поверхности воды и очищает ее от разлившейся нефти.

В зимний период перемещение устройства подо льдом обеспечивается по известным способам подледного лова рыбы. Для ускорения процесса возможно для протягивания строп использовать средства малой механизации, используемые и всесторонне испытанные рыбаками или пользоваться заранее установленными на дне водоемов тросами.

Рассмотренное плавучее сорбирующее устройство (рис. 1) может дополнительно оснащаться водяным парусом. Для этого целесообразно к передней по течению кромке сетчатого чехла прикреплять полосу плотного материала 4 с грузом 5, распределенным по нижнему краю. Установка простого водяного паруса существенно повышает скорость движения сорбирующего устройства по течению. При этом скорость движения сорбирующего устройства будет выше скорости перемещения нефтяного пятна. Такая конструкция устройства позволяет сплавлять его вслед за нефтяным пятном и увеличивать продолжительность контактирования.

Испытания описанного плавучего сорбирующего устройства, проведенные на замкнутом водоеме, показали положительные результаты.

Контрольные отборы проб воды из отверстий, пробуренных по радиальным направлениям от центра через каждый метр, показали, что закачанная в объеме 10 литров нефть под поверхностью льда распределяется пятном диаметром около 5 м с толщиной 0,5 мм в течение 20 минут. В дальнейшем распространение практически прекращается.

Находящийся в воде сорбент впитывает не только нефть, но частично и воду, и при использовании отжимного устройства нефть в малых количествах полностью удерживается сорбентом. Поэтому эффективность применения сорбирующего устройства определялась по содержанию нефти в воде.

Фоновое содержание нефти (нефтепродуктов) в водоеме, измеренное до введения загрязнения не превышало 0,07 мг/л при предельно допустимой концентрации (ПДК) нефти или нефтепродуктов в воде питьевого назначения установленной российскими нормативно-техническими документами не более 0,1 мг/л. Для рыбохозяйственных водоемов предусмотрен менее жесткий уровень ПДК – не более 0,3 мг/л. Пробы воды отбирались с глубины 0,5 м. Операция подледного сбора нефти проводилась путем трехкратного перемещения устройства подо льдом поочередно к лункам, выполненным по углам квадрата 50x50 м. Затем из контрольных лунок, размещенных на расстоянии до 5 м от центра площадки, отбирались пробы воды. Содержание нефти в воде составило от 0,87 мг/л (центр) до 0,24 мг/л (5 м).

Таким образом, согласно результатам проведенных замеров наблюдается высокая эффективность разработанного устройства.

Высокие гидрофобные и нефтефильные характеристики материала «Экосорб» способствуют созданию эффективных устройств для сбора нефти с поверхности грунта и льда. Схема следующего устройства представлена на рис. 2 [2].

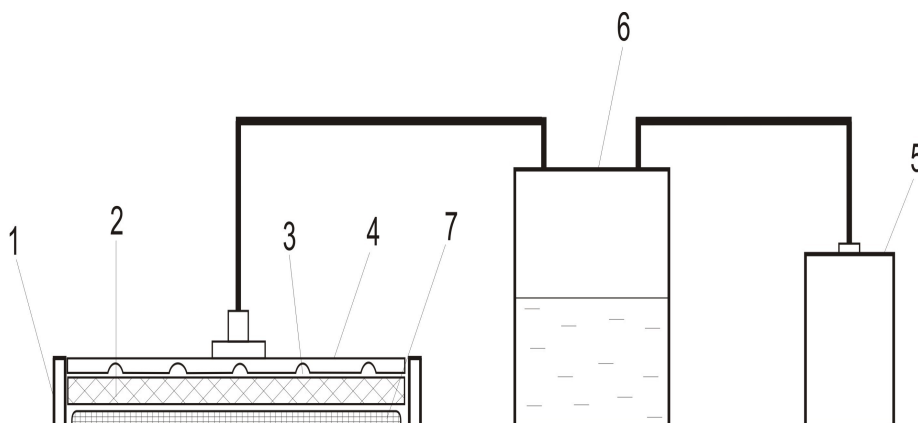


Рис. 2. Устройство для сбора нефти с поверхности грунта

Устройство содержит прямоугольный корпус 1, внутри которого помещается в несколько слоев сорбент 2, размещенный в сетчатом чехле 3, закрытый съемной воздухо непроницаемой крышкой 4, соединенный с вакуумным насосом 5 через накопительную емкость 6. При разливе нефти по поверхности грунта или льда устройство устанавливается на нефтяное пятно 7. Процесс поглощения нефти сорбентом начинается сразу с момента их взаимного контакта. При включении вакуумного насоса поглощение нефти сорбентом резко интенсифицируется. Выключение насоса осуществляется при появлении нефти в зазоре между крышкой и корпусом. Насыщенный нефтью сорбент извлекается из корпуса и помещается в емкость для временного хранения нефти. После замены сорбента процесс повторяется. Использованные сорбенты после отжима могут использоваться многократно, затем подлежат уничтожению. Для удобства укладки и выемки сорбента его помещают в сетчатый чехол. Для обеспечения необходимого уровня вакуума предлагается боковую поверхность и периметр верхней части полипропиленового сорбента оплавить.

Показатели сорбционной способности устройства по объему поглощаемой нефти приведены в табл. 2. Расчеты проведены для сорбента площадью 1 м².

Таблица 2. Удельное нефтепоглощение устройства для сбора нефти с поверхности грунта или льда

Количество слоев сорбента	Толщина, см	Масса сорбента, кг	Нефтепоглощение, кг
1	0,5	0,3	5,4
5	2,5	1,5	27,0
10	5,0	3,0	54,0
15	7,5	4,5	81,0
20	10,0	6,0	108,0

В зимнее время для разжижения застывшей нефти можно использовать тепловые пушки непрямого действия, а также выхлопные газы автомобилей, глушители которых оборудованы искрозащитными приспособлениями.

Так как основным преимуществом «Экосорба» является низкое поглощение воды, при его использовании происходит одновременное отделение воды от нефти. В модельном эксперименте на поддон площадью около 1 м² наливалась смесь из 10 л нефти и 10 л воды. Сорбент размером 75 см x 75 см x 10 см полностью поглощал нефть. Вода благодаря гидрофобным свойствам сорбента свободно протекала через сорбент и поступала в накопительную емкость вакуумного насоса. Скорость сбора достаточно велика, для 20 л нефтеводяной смеси достаточно 1-2 мин.

Одним из перспективных путей снижения уровня загрязнения воды нефтью при проколах или разрывах магистрального нефтепровода может являться установка защитного сорбирующего покрытия, размещенного на дне реки непосредственно над траншеей. Конструкция покрытия показана на рис. 3 [3].

Защитное покрытие содержит сорбент, например, «Экосорб» 1, размещенный в несколько слоев внутри гибкого сетчатого чехла 2, в верхней части которого между сеткой и сорбентом прокладывается нефтенепроницаемая полимерная пленка 3. Для прижатия покрытия ко дну к сетчатому кожуху прикрепляются грузы – металлические цепи 4.

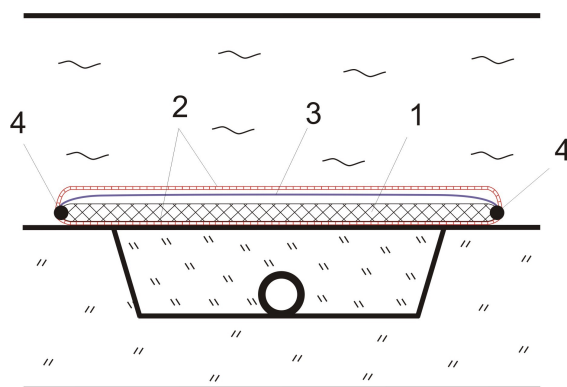


Рис. 3. Способ защиты водоемов при аварийных разливах нефти в траншейных подводных переходах

Монтаж защитного покрытия над траншеей может осуществляться протягиванием тросами лебедкой или судном.

Ширина покрытия должна быть не менее ширины траншеи. Соотношения между объемом сорбента и весом грузов определяются с учетом увеличения плавучести покрытия при вытеснении в нем воды нефтью. Удельный вес смеси нефти различных месторождений, например, транспортируемых по трубопроводу ВСТО, прогнозируется на уровне $0,84 \text{ г/см}^3$. Удельный вес полипропилена, из которого изготавливается сорбент, составляет $0,94\text{-}0,96 \text{ г/см}^3$. С учетом удельного веса полиэтиленовой пленки, близкой к удельному весу воды, несложные вычисления показывают, что для удержания защитного покрытия на дне водоема общий вес грузов должен быть не менее 160 кг на один кубометр сорбента.

При разрыве нефтепровода расчетное количество разлива нефти для перехода через Лену составляет около 800 т. Для полного поглощения такого количества нефти необходимо, чтобы объем защитного покрытия составлял 1000 м^3 . При ширине 10 м и длине 1000 м толщина сорбента должна составлять 10 см. Общий расчетный вес груза при этом будет равен 160 т.

Использование грузов меньшего веса может привести к преждевременному всплыванию защитного покрытия и уровень загрязнения воды будет соответственно ослаблен.

Так как высокие гидрофобные свойства и гигроскопические характеристики материала «Экосорб» существенно замедляют его насыщение водой, его заблаговременно до монтажа защитного покрытия следует поместить в воду, чтобы вес используемых грузов был достаточен для его затопления и исключения возможности всплытия.

При разрыве нефтепровода с учетом фильтрации нефти через грунт с глубины более 5 м от верха трубы скорость ее поступления в сорбент будет существенно замедляться. Поэтому с учетом расширения нефтяного пятна по мере прохождения через грунт и прослойку воды между защитным покрытием и дном большая часть нефти будет задержана сорбентом.

Для облегчения выемки насыщенного нефтью защитного покрытия вес используемых грузов должен быть несколько меньше 160 кг на один кубометр сорбента. В этом случае при практически полном приближении к нефтенасыщению покрытие всплывет и может быть задержано и удалено из воды через майны заранее установленными ниже по течению стропами, снабженными крюками.

Преимуществом предлагаемого сорбирующего покрытия является его постоянная готовность к поглощению нефти при ее появлении. Малая толщина и донное размещение покрытия будут способствовать минимизации воздействия потока воды. Разрушение покрытия возможно только в процессе ледохода, поэтому рекомендуется размещать покрытие на глубинах, исключаящих его взаимодействие со льдом, а также осуществлять ежегодную летнюю проверку технического состояния и при необходимости производить его ремонт или замену.

Испытания предлагаемого защитного покрытия проведены на макете, представленном на рис. 4. На дне емкости, заполненной водопроводной водой, размещается полоса сорбирующего материала шириной 20 см, поджатая грузами. Сорбент выдерживается до полного насыщения водой, остатки воздушных пузырей отчетливо регистрируются визуально. После водонасыщения под полосу сорбента подается нефть в количестве 100 г и выдерживается в течение одного месяца.

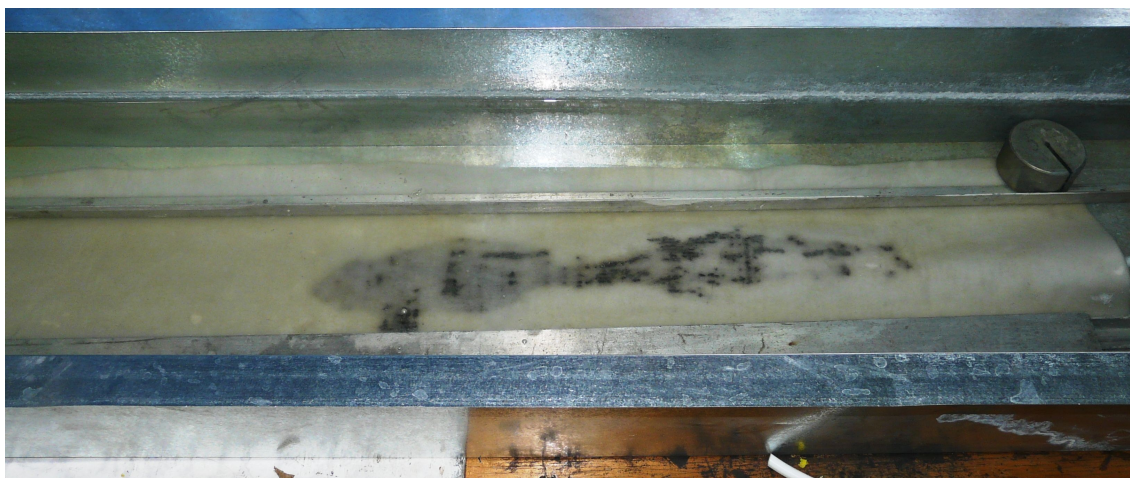


Рис. 4. Распределение нефти в сорбенте через месяц после введения

Как показали эксперименты, при контактировании нефти с сорбентом вода из него вытесняется. Нефть в сорбенте удерживается и по мере насыщения сорбента пятно распространяется вдоль полосы. Даже при отсутствии нефтенепроницаемой пленки на поверхности сорбента в воду нефть практически не проникает. Таким образом, несложный эксперимент доказывает эффективность предлагаемого защитного покрытия, позволяющего значительно снизить количество нефти, которая может поступить в водоем при возникновении аварийной ситуации. Достоинством предлагаемого технического решения является то, что установленное над траншеей нефтепровода защитное сорбирующее покрытие находится в постоянной готовности.

Литература

1. Устройство для сбора нефти с поверхности грунта / Попов С.Н., Герасимов А.И., Морова Л.Я., Ефимов С.Е. Институт проблем нефти и газа СО РАН. № 2010 123276; заявл. от 07.06.2010.
2. Устройство для сбора нефти под поверхностью льда / Попов С.Н., Герасимов А.И., Морова Л.Я., Ефимов С.Е. Институт проблем нефти и газа СО РАН. № 2010 123274; заявл. от 07.06.2010.
3. Способ защиты водоемов при аварийных разливах нефти. / Попов С.Н., Герасимов А.И., Морова Л.Я., Ефимов С.Е. Институт проблем нефти и газа СО РАН. № 2010 123277; заявл. от 07.06.2010.

WAYS AND MEANS OF OIL-SPILL RECOVERY IN THE LOW TEMPERATURES CONDITIONS OF YAKUTIA

S.N. Popov, L.Ya. Morova, S.E. Efimov, A.I. Gerasimov

*Institute of Oil and Gas Problems, Siberian Branch of the RAS, Yakutsk, Russia
e-mail: menseit@mail.ru*

Abstract. *The analysis of the scientific and technical information and the equipment for oil-spill localization and recovery let out by the domestic industry has shown that for application in winter conditions of Yakutia corresponding technical and technological decisions practically are absent. Perspectivity of use in technologies on oil-spill localization and recovery of a domestic petrosorbent "ECOSORB" is shown. With "ECOSORB" petrosorbent application three types of the process equipment are developed.*

Keywords: *main oil pipeline, oil-spill, means to eliminate the accident, environmental protection, ecology, petrosorbent, low temperatures, ice conditions*

References

1. Popov S.N., Gerasimov A.I., Morova L.Ya., Efimov S.E. Ustroistvo dlya sbora nefi s poverkhnosti grunta (The device for recovering oil from soil surface). Institute of Oil and Gas Problems SB RAS. Patent application No. 2010 123276 from 07.06.2010.
2. Popov S.N., Gerasimov A.I., Morova L.Ya., Efimov S.E. Ustroistvo dlya sbora nefi pod poverkhnost'yu l'da (A device for collecting oil under the ice surface). Institute of Oil and Gas Problems SB RAS. Patent application No. 2010 123274 from 07.06.2010.
3. Popov S.N., Gerasimov A.I., Morova L.Ya., Efimov S.E. Sposob zashchity vodoemov pri avariinykh razlivakh nefi (The protection method of water basin against accidental oil spills). Institute of Oil and Gas Problems SB RAS. Patent application No. 2010 123277 from 07.06.2010.